

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of: **Nobuaki HATORI**

Group Art Unit: **Not Yet Assigned**

Serial No.: **Not Yet Assigned**

Examiner: **Not Yet Assigned**

Filed: **August 21, 2003**

For: **METHOD OF MANUFACTURING A SEMICONDUCTOR LASER**

CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Date: August 21, 2003

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application is hereby requested for the above-identified application, and the priority provided in 35 U.S.C. 119 is hereby claimed:

Japanese Appln. No. 2002-244090, filed August 23, 2002

In support of this claim, the requisite certified copy of said original foreign application is filed herewith.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the applicant has complied with the requirements of 35 U.S.C. 119 and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of said certified copy.

In the event that any fees are due in connection with this paper, please charge our Deposit Account No. 01-2340.

Respectfully submitted,

ARMSTRONG, WESTERMAN & HATTORI, LLP



William G. Kratz, Jr.
Attorney for Applicant
Reg. No. 22,631

WGK/jaz
Atty. Docket No. **030941**
Suite 1000
1725 K Street, N.W.
Washington, D.C. 20006
(202) 659-2930



23850

PATENT TRADEMARK OFFICE

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 8月23日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-244090

[ST.10/C]:

[JP 2002-244090]

出 願 人

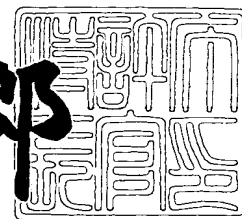
Applicant(s):

富士通株式会社

2003年 3月 4日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3012093

【書類名】 特許願

【整理番号】 0240142

【提出日】 平成14年 8月23日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 5/12

【発明の名称】 半導体レーザの製造方法

【請求項の数】 10

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

 【氏名】 羽鳥 伸明

【特許出願人】

 【識別番号】 000005223

 【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100091672

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 岡本 啓三

 【電話番号】 03-3663-2663

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 013701

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 9704683

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体レーザの製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に半導体層を形成する工程と、
前記半導体層に周期的な凹凸を形成する工程と、
前記半導体層の凸部の平坦な面を凹部の底部に向かって傾斜する面に変形させる工程と、
前記凹部の内側にのみ量子ドットが 3 次元方向に並んだ活性層を形成する工程と
を有することを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項 2】 前記凹部を前記凸部よりも広い幅で形成することを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項 3】 前記凹凸を、光の伝播方向に沿って周期的に且つ前記量子ドットの管内波長の 2 分の 1 の自然数倍と同程度の周期で形成することを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項 4】 前記量子ドットが自己形成的に形成されることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項 5】 基板の上に第 1 の半導体からなる第 1 の層を形成する工程と
前記第 1 の層に周期的なストライプ状の溝を形成する工程と、
前記第 1 の層を前記基板とともに加熱して、前記第 1 の層の溝間の平坦な面を溝の底部に向かって傾斜する面に変形させる工程と、
前記溝の内側に第 2 の半導体を堆積し、格子定数の差を利用して前記溝の底部にのみ量子ドットを形成する工程と
を有することを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項 6】 前記第 2 の半導体の堆積は分子線エピタキシー法により実施することを特徴とする請求項 5 に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項 7】 前記基板として、G s A s 半導体基板、I n G a A s 半導体基板及び I n P 半導体基板のうちのいずれかの基板を使用することを特徴とする

請求項 5 に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項 8】 前記量子ドットを、InAs、InGaAs、InGaAsP 及び GaInNAs のうちのいずれかにより形成することを特徴とする請求項 5 に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項 9】 出力光の波長が $1.3\ \mu\text{m}$ となるように前記溝のピッチを設定することを特徴とする請求項 5 に記載の半導体レーザ装置の製造方法。

【請求項 10】 出力光の波長が $1.55\ \mu\text{m}$ となるように前記溝のピッチを設定することを特徴とする請求項 5 に記載の半導体レーザ装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、活性層に量子ドット構造を有する半導体レーザの製造方法に関し、特に、高速長距離光ファイバ通信やアクセス系光ファイバ通信の光源として好適な半導体レーザの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

電気信号を光信号に変換する方法には、変調信号の変化に応じて半導体レーザから出力される光を直接変調する直接変調方式と、半導体レーザの出力光に対し外部から変調を加える外部変調方式とがある。

【0003】

一般的に、大容量光ファイバ通信システムでは外部変調方式が使用されており、光信号を発生する送信装置は、連続光を発生する量子井戸分布帰還形半導体レーザと、レーザから出力された光に信号を乗せる外部光変調器とから構成されている。仮に、量子井戸分布帰還形半導体レーザを高速で直接変調動作させると、半導体レーザの活性層に用いられている構造が量子井戸であるため注入キャリア密度の変動に起因して活性層の屈折率が変動し、発振波長のシフトが起きて伝送距離を制限するチャープングと呼ばれる現象が発生する。

【0004】

このため、商用の大容量光ファイバ通信システムでは、前述の如く、外部変調

方式が一般化されている。連続発振単一モード半導体レーザと高速光変調器との組み合わせにより、10 Gbit/s を超える超高速・大容量光ファイバ通信の実験も行われている。

【0005】

ところで、チャープングを議論する上で重要なパラメータの一つに、線幅増大係数がある。線幅増大係数 α は、下記(1)式で定義される。

【0006】

【数1】

$$\alpha = - \frac{\partial [\text{Re}\{\chi(N)\}] / \partial N}{\partial [\text{Im}\{\chi(N)\}] / \partial N} \quad \dots (1)$$

【0007】

ここで、 $\chi(N)$ は活性層の複素感受率で、 Re と Im は $\chi(N)$ の実部と虚部、 N はキャリア密度である。 $\chi(N)$ の実部と虚部は、Kramers-Kronigの関係式で結ばれていることと、 $\chi(N)$ の虚部は利得 g に比例することを用いると、線幅増大係数 α を定義する(1)式は、下記(2)式のように書き表すことができる。

【0008】

【数2】

$$\alpha(E, N) = -P \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial g(E', N) / \partial N}{E' - E} dE' / \partial g(E', N) / \partial N \quad \dots (2)$$

【0009】

ここで、 E' 及び E はエネルギー、 P はCauchyの主値積分を表わす。

【0010】

バルク構造を半導体レーザの活性層として用いる場合、線幅増大係数は発振波長近傍で4～6程度の値である。量子井戸構造を活性層に用いることで、線幅増大係数を2程度まで低減することができる。量子井戸の材料や組成及びレーザ構

造を調整し、DFB（分布帰還形）構造によって発振波長を微分利得スペクトルのピーク方向へずらすことで、線幅増大係数を1.4～1.8という小さな値にできることが報告されている。しかし、これを更に小さくすることは、量子井戸構造では困難である。それは、線幅増大係数は活性層の微分利得スペクトルのピークで0となるが、量子井戸構造では通常、微分利得スペクトルのピーク位置は利得スペクトルの吸収領域にあり、利得スペクトルのピーク位置とずれているためである。

【0011】

量子井戸構造半導体レーザよりも更に線幅増大係数の低減が期待されるものとして、活性層に量子ドット構造を有する量子ドット分布帰還形半導体レーザが提案されている。

【0012】

図1は、従来の量子ドット分布帰還形型半導体レーザの構造を示す断面図である。

【0013】

n型GaAs半導体基板11の上にはn型AlGaAsクラッド層12が形成されており、このAlGaAsクラッド層12上にはi型GaAsSCH（Separate Confinement Heterostructure：分離閉じ込め）層13が形成されている。GaAsSCH層13には、量子ドット14が3次元方向に配列した領域と、量子ドットが形成されていない領域とが一定の周期で設けられている。このi型GaAsSCH層13が半導体レーザの活性層である。

【0014】

GaAsSCH層13の上にはp型AlGaAsクラッド層15が形成されており、AlGaAsクラッド層15の上にはp型GaAsキャップ層16が形成されている。

【0015】

GaAs半導体基板11の下及びGaAsキャップ層16の上にはそれぞれ電極17a, 17bが形成されている。また、GaAsSCH層13の一方の端面側には高反射率ミラー18が形成され、他方の端面側には低反射率ミラー19が

形成され、低反射率ミラー 1 9 を通って光が出射するようになっている。

【 0 0 1 6 】

量子ドットは、一般的に、 InAs/GaAs 等の歪み系ヘテロエピタキシャル構造において、ヘテロエピタキシャル成長の初期に出現する S-K (Stranski-Krastanov) モード成長を利用することにより形成される (例えば、特開平 9 - 3 2 6 5 0 6 号参照)。

【 0 0 1 7 】

以下、図 1 ~ 図 3 を参照して、従来の量子ドット分布帰還形半導体レーザの製造方法を説明する。

【 0 0 1 8 】

まず、MOVPE (Metalorganic vapor phase epitaxy: 有機金属気相成長) 法又はMBE (Molecular Beam Epitaxy: 分子線エピタキシー) 法により、GaAs 半導体基板 1 1 の (1 0 0) 面上に n 型 AlGaAs クラッド層 1 2 を約 1 4 0 0 nm の厚さに形成する。次に、チャンバ内にTEGa (トリエチルガリウム) 及び AsH_3 を供給して、図 2 (a) に示すように、AlGaAs クラッド層 1 2 の上に、i 型 GaAs 層 2 1 を約 2 0 nm の厚さに形成する。このときの基板温度は、例えば 6 2 0 °C とする。

【 0 0 1 9 】

その後、図 2 (b) に示すように、Ga の供給を遮断して基板温度を約 5 0 0 °C まで下げ、チャンバ内に In の分子ビームを導入して、厚さが 1 ~ 数分子層分の i 型 InAs 層を堆積する。このとき、InAs 層の格子定数が GaAs 層 2 1 の格子定数と若干異なるため、S-K モード成長により、図 2 (c) に示すように、GaAs 層 2 1 の上に相互に離隔した多数の InAs 島 2 2 が発生する。

【 0 0 2 0 】

このようにして第 1 層目の InAs 島 2 2 が形成された後、図 2 (d) に示すように、GaAs 層 2 1 の上に厚さが 2 ~ 3 nm の i 型 GaAs からなる中間層 2 3 を堆積する。これにより、InAs 島 2 2 がバンドギャップの大きい GaAs に囲まれて、キャリアを 3 次元的に閉じ込める量子ドット 1 4 が形成される。

【 0 0 2 1 】

その後、InAs 島 2 2 の形成と i 型 GaAs 中間層 2 3 の堆積を数回繰り返す、図 3 (a) に示すように、量子ドット 1 4 が 3 次元方向に配列した積層量子ドット構造の層 2 4 形成する。

【0022】

次に、フォトリソグラフィ法により層 2 4 をエッチングして、図 3 (b) に示すように、AlGaAs クラッド層 1 2 に到達するストライプ状の溝 2 5 を形成する。その後、図 3 (c) に示すように、全面に i 型 GaAs 層を堆積して溝 2 5 を埋め、表面を平坦化する。このようにして、GaAs SCH 層 1 3 が形成される。GaAs SCH 層 1 3 には、量子ドット 1 4 が 3 次元方向に整列した領域と、量子ドット 1 4 が設けられていない領域とが一定の周期で並んでいる。

【0023】

次いで、図 1 に示すように、GaAs SCH 層 1 3 の上に p 型 AlGaAs クラッド層 1 5 及び p 型 GaAs キャップ層 1 6 を形成する。その後、電極 1 7 a、1 7 b、高反射率ミラー 1 8 及び低反射率ミラー 1 9 を形成する。これにより、量子ドット分布帰還形半導体レーザが完成する。

【0024】

【発明が解決しようとする課題】

前述したように、大容量光ファイバ通信システムでは一般的に、半導体レーザと光変調器とを集積して送信機を構成している。しかし、この方式は、半導体レーザ単体の直接変調と比べると構成が複雑であり、製作にかかるコストが増大するという欠点がある。

【0025】

量子ドット構造の半導体レーザは、量子井戸構造の半導体レーザに比べて線幅増大係数が小さく、直接変調してもチャージングが発生しにくいという利点がある。しかし、超高速・大容量光ファイバ通信システムに利用するために、量子ドットがより一層高密度かつ均一であり、利得の大きい半導体レーザが望まれている。

【0026】

以上から、本発明は、高密度かつ均一な量子ドットを形成でき、利得が大きく

、直接変調してもチャージングが発生しにくい半導体レーザの製造方法を提供することを目的とする。

【0027】

【課題を解決するための手段】

上記した課題は、基板上に半導体層を形成する工程と、前記半導体層に周期的な凹凸を形成する工程と、前記半導体層の凸部の平坦な面を凹部の底部に向って傾斜する面に変形させる工程と、前記凹部の内側にのみ量子ドットが3次元方向に並んだ活性層を形成する工程とを有することを特徴とする半導体レーザの製造方法により解決する。

【0028】

また、上記した課題は、基板の上に第1の半導体からなる第1の層を形成する工程と、前記第1の層に周期的なストライプ状の溝を形成する工程と、前記第1の層を前記基板とともに加熱して、前記第1の層の溝間の平坦な面を溝の底部に向って傾斜する面に変形させる工程と、前記溝の内側に第2の半導体を堆積し、格子定数の差を利用して前記溝の底部にのみ量子ドットを形成する工程とを有することを特徴とする半導体レーザの製造方法により解決する。

【0029】

本発明においては、第1の半導体からなる半導体層に周期的な凹凸（又は、溝）を形成する。凹凸の周期は例えば量子ドットの管内波長の2分の1の自然数倍と同程度に設定する。

【0030】

次に、凸部の平坦な面を凹部の底部に向って傾斜する面に変形させる。例えば、凸部の幅を十分小さくしておくと、基板温度を上昇する過程で凸部の断面形状がなだらかになり、凸部の平坦な面をなくすることができる。

【0031】

その後、例えば分子線エピタキシー法により半導体層の上に第2の半導体を堆積する。この場合に、第2の半導体は凸部の傾斜面には殆ど堆積せず、主に凹部の底面に堆積する。そして、凹部の底面でS-Kモード成長し、量子ドットを形成する。

【 0 0 3 2 】

このように、本発明では、凹部（又は、溝）の底部にのみ量子ドットが自己形成されるので、高密度かつ均一な量子ドットが得られる。これにより、利得が大きく、直接変調してもチャージングが発生しにくい半導体レーザを製造することができる。

【 0 0 3 3 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について、添付の図面を参照して説明する。

【 0 0 3 4 】

（第 1 の実施の形態）

図 4 ～図 7 は本発明の第 1 の実施の形態の量子ドット分布帰還形半導体レーザの製造方法を示す図である。

【 0 0 3 5 】

まず、図 4（a）に示すように、MBE 法により、n 型 GaAs 半導体基板 51 の（100）面上に n 型 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ からなるクラッド層 52 を約 1400 nm の厚さに形成する。このとき、基板温度は、例えば 620℃ とする。なお、GaAs 半導体基板に替えて、InGaAs 半導体基板又は InP 半導体基板を使用してもよい。

【 0 0 3 6 】

次に、チャンバ内に TEGa （トリエチルガリウム）及び AsH_3 を供給して、図 4（b）に示すように、 AlGaAs クラッド層 52 の上に i 型 GaAs 層 53 を約 600 nm の厚さに形成する。

【 0 0 3 7 】

次に、MBE 装置のチャンバから基板 51 を取り出して、i 型 GaAs 層 53 の表面にフォトリソを塗布する。そして、電子ビーム露光によりフォトリソに回折パターンを描画し、その後現像処理を施して、幅が約 50 nm、ピッチが一定のストライプ状のレジストマスク（図示せず）を形成する。

【 0 0 3 8 】

次に、マスクに覆われていない部分の i 型 GaAs 層 51 をドライエッチング

して、図 5 (a) に示すように、深さが約 4 0 0 n m の溝 5 4 を形成する。この場合に、ドライエッチングでは基板 5 1 に対し垂直方向にエッチングが進むため、図 5 (a) のように溝 5 4 の断面はほぼ矩形となり、溝と溝との間の部分（以下、「テラス」と呼ぶ）は平坦である。

【 0 0 3 9 】

なお、溝 5 4 のピッチは発振波長に応じて設定する。本実施の形態では、後述するように各溝 5 4 内に量子ドットを形成して周期構造を構成するので、量子ドットの周期構造が管内波長の $1/2$ の自然数倍と同程度となるように溝 5 4 のピッチを決定する。例えば、発振波長を $1.3 \mu\text{m}$ とする場合は溝 5 4 のピッチを 2 0 0 n m とし、発振波長を $1.55 \mu\text{m}$ とする場合は溝 5 4 のピッチを 2 4 0 n m とする。但し、発振波長は量子ドットの周期だけでなく、量子ドットの組成や大きさにも関係する。

【 0 0 4 0 】

次に、基板 5 1 を M B E 装置のチャンバ内に戻し、約 5 0 0 °C まで加熱する。この加熱により、図 5 (b) に示すように、溝 5 4 の縁部がなだらかな曲面になり、テラスの平坦な部分が殆どなくなる。

【 0 0 4 1 】

次に、図 5 (c) に示すように、チャンバ内に I n 及び A s の分子ビームを導入して、i 型 I n A s 層を形成する。このとき、I n A s 分子は凸部の傾斜面には殆ど堆積せず、主に溝 5 4 の底部に堆積する。そして、溝 5 4 の底部に i 型 I n A s 層がある程度堆積すると、図 6 (a) に示すように、S - K モード成長により相互に離隔した多数の I n A s 島 5 5 が発生する。

【 0 0 4 2 】

このようにして第 1 層目の I n A s 島 5 5 を形成した後、図 6 (b) に示すように、全面に i 型 G a A s 中間層 5 6 を約 2 ~ 3 n m の厚さに形成して、I n A s 島 5 5 を i 型 G a A s 中間層 5 6 で覆う。これにより、I n A s 島 5 5 の周囲がバンドギャップの大きい G a A s に囲まれ、キャリアを 3 次元的に閉じ込める量子ドット 5 7 が形成される。

【 0 0 4 3 】

なお、本実施の形態では量子ドット 5 7 を InAs により形成しているが、 InGaAs 、 InGaAsP 又は GaInNAs 等により形成してもよい。

【0044】

次に、 InAs 島 5 5 の形成と i 型 GaAs 中間層 5 6 の堆積を数回繰り返す、図 6 (c) に示すように、溝 5 4 の内側に量子ドット 5 7 が 3 次元方向に並んだ量子ドット構造を形成する。

【0045】

その後、溝 5 4 が埋まるまで i 型 GaAs を堆積し、表面を平坦化する。これにより、図 7 (a) に示すように、 i 型 GaAsSCH 層 (活性層) 5 8 が形成される。 GaAsSCH 層 5 8 には、量子ドット 5 7 が 3 次元方向に配列した領域と、量子ドット 5 7 が設けられていない領域とが周期的に並んでいる。

【0046】

次いで、図 7 (b) に示すように、 GaAsSCH 層 5 8 の上に p 型 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ からなるクラッド層 5 9 を約 1400nm の厚さに形成し、更にもその上に p 型 GaAs キャップ層 6 0 を約 400nm の厚さに形成する。そして、 GaAsSCH 層 5 8 の一方の端面側に高反射率ミラー 6 2 を形成し、他方の端面側に低反射率ミラー 6 3 を形成する。また、基板 5 1 の下側に電極 6 1 a を形成し、 p 型 GaAs キャップ層 5 9 の上に電極 6 1 b を形成する。これにより、量子ドット分布帰還形半導体レーザが完成する。

【0047】

本実施の形態によれば、図 5 (c) に示すように、凸部の傾斜面に到達した In 分子及び As 分子は溝 5 4 の底部の平面へ移動して量子ドットを形成するため、平板状の基板の上へ量子ドットを形成する場合 (図 1 ~ 図 3 参照) に比べて量子ドットを高密度かつ均一に形成することができる。その結果、定在波の腹部分に量子ドットが高密度に局在することによって、利得が増大するという効果が得られる。従って、本実施の形態により製造された半導体レーザは、直接変調してもチャージングが発生しにくく、超高速・大容量光ファイバ通信システムに適用できる。

【0048】

なお、本願発明者等は、半導体基板上に周期的な凹凸を設け、凹部の底面（谷部）及び凸部の上面（山部）にそれぞれ量子ドットを形成した半導体レーザを提案している（特開2001-326421号）。この半導体レーザに比べて、本発明の半導体レーザは溝の底部のみに量子ドットを形成するので、量子ドットの密度及び均一性が向上し、利得がより一層大きくなるという利点がある。

【0049】

（第2の実施の形態）

図8は、本発明の第2の実施の形態の半導体レーザの製造方法を示す断面図である。なお、本実施の形態は、本発明をリッジ（ridge）メサ型の半導体レーザの製造に適用した例を示している。

【0050】

まず、MBE法により、n型半導体基板71の（100）面上にn型AlGaAsクラッド層72を形成し、その上に量子ドットの周期構造を有するi型GaAsSCH層73を形成する。i型GaAsSCH層73は、第1の実施の形態と同様の方法により形成する（図5、図6参照）。

【0051】

その後、i型GaAsSCH層73上にp型AlGaAsクラッド層74を形成し、更にその上にp型GaAsキャップ層75を形成する。

【0052】

次に、p型GaAsキャップ層75の上に所定の形状のマスクを形成し、n型AlGaAsクラッド層72の厚さ方向の途中までエッチングして、リッジメサ構造を形成する。なお、予めGaAs半導体基板71とAlGaAsクラッド層72との間にn型GaAsバッファ層を形成しておき、GaAsバッファ層が露出するまでエッチングを行ってもよい。

【0053】

次に、半導体基板71の上側全面に例えばSiN等の絶縁膜76を形成する。そして、フォトリソグラフィ法により絶縁膜76を選択的にエッチングして、n型AlGaAsクラッド層72が露出する開口部と、p型GaAsキャップ層75が露出する開口部を形成する。その後、半導体基板71の上側全面に金属膜を

形成し、フォトリソグラフィ法により金属膜をパターンニングして、n型AlGaAsクラッド層に接続する電極77aと、p型GaAsキャップ層75に接続する電極77bとを形成する。これにより、リッジメサ型の半導体レーザが完成する。

【0054】

本実施の形態においても、第1の実施の形態と同様に、i型GaAs層にストライプ状に溝を形成し、熱によりテラスの平坦部分を殆どなくした後、MBE法によりInAs量子ドットを形成する。これにより、溝の底部に量子ドットが高密度かつ均一に形成され、利得が大きく、直接変調してもチャージングが発生しにくい半導体レーザが得られる。

【0055】

(その他の実施の形態)

上述した第1及び第2の実施の形態ではいずれも本発明を端面発光半導体レーザの製造に適用した場合について説明したが、本発明は面発光半導体レーザの製造に適用することもできる。図9は、面発光半導体レーザの一例を示す断面図である。

【0056】

n型半導体基板81上にはn型AlGaAsクラッド層82が形成されている。このn型AlGaAsクラッド層82はメサ型に形成されており、n型AlGaAsクラッド層82のメサ部の上にはミラー層83が形成されている。このミラー層83は、例えば交互に積層されたGaAs層とAlGaAs層とにより構成される。

【0057】

ミラー層83の上には、量子ドットの周期構造を有するi型GaAsSCH層84が形成されている。このi型GaAsSCH層84の上には、ミラー層85が形成されている。このミラー層85も、例えば交互に積層されたGaAs層とAlGaAs層とにより構成されている。但し、ミラー層85はミラー層83よりも積層数を少なくして、ある程度増幅された光がミラー層85を通過するようにしている。

【0058】

ミラー層85の上にはp型AlGaAsクラッド層86が形成されており、p型AlGaAsクラッド層86の上にはp型GaAsキャップ層87が形成されている。

【0059】

これらのAlGaAsクラッド層82、ミラー層83、i型GaAsSCH層84、ミラー層85、p型AlGaAsクラッド層86及びp型GaAsキャップ層87の上面又は側面は絶縁膜88に覆われている。一方の電極89aは絶縁膜88に設けられた開口部をAlGaAsクラッド層82に接続され、他方の電極89bはリング状に形成されて、絶縁膜88に設けられた開口部を介してp型GaAsキャップ層87に接続されている。また、電極89bの内側には、反射防止膜90が形成されている。

【0060】

このような構成の面発光半導体レーザにおいて、i型GaAsSCH層を第1の実施の形態で説明した方法により形成する。すなわち、i型GaAs層にストライプ状に溝を形成し、熱によりテラスの平坦部分を殆どなくした後、MBE法によりInAs量子ドットを形成する。但し、面発光半導体レーザでは、垂直方向の量子ドットの周期が管内波長の $1/2$ の自然数倍と同程度になるようにする。

【0061】

(付記1) 基板上に半導体層を形成する工程と、前記半導体層に周期的な凹凸を形成する工程と、前記半導体層の凸部の平坦な面を凹部の底部に向って傾斜する面に変形させる工程と、前記凹部の内側にのみ量子ドットが3次元方向に並んだ活性層を形成する工程とを有することを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【0062】

(付記2) 前記凹凸を、光の伝播方向に沿って周期的に且つ前記量子ドットの管内波長の2分の1の自然数倍と同程度の周期で形成することを特徴とする付記1に記載の半導体レーザの製造方法。

【0063】

(付記 3) 前記量子ドットが自己形成的に形成されることを特徴とする付記 1 に記載の半導体レーザの製造方法。

【 0 0 6 4 】

(付記 4) 基板の上に第 1 の半導体からなる第 1 の層を形成する工程と、前記第 1 の層に周期的なストライプ状の溝を形成する工程と、前記第 1 の層を前記基板とともに加熱して、前記第 1 の層の溝間の平坦な面を溝の底部に向って傾斜する面に変形させる工程と、前記溝の内側に第 2 の半導体を堆積し、格子定数の差を利用して前記溝の底部にのみ量子ドットを形成する工程とを有することを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【 0 0 6 5 】

(付記 5) 前記第 2 の半導体の堆積は分子線エピタキシー法により実施することを特徴とする付記 4 に記載の半導体レーザの製造方法。

【 0 0 6 6 】

(付記 6) 前記溝の幅を、溝間の平坦部分の幅よりも広くすることを特徴とする付記 4 に記載の半導体レーザの製造方法。

【 0 0 6 7 】

(付記 7) 前記溝の内側に量子ドットを積層して形成することを特徴とする付記 4 に記載の半導体レーザの製造方法。

【 0 0 6 8 】

(付記 8) 前記基板として、G s A s 半導体基板、I n G a A s 半導体基板及び I n P 半導体基板のうちのいずれかの基板を使用することを特徴とする付記 4 に記載の半導体レーザの製造方法。

【 0 0 6 9 】

(付記 9) 前記量子ドットを、I n A s、I n G a A s、I n G a A s P 及び G a I n N A s のうちのいずれかにより形成することを特徴とする付記 4 に記載の半導体レーザの製造方法。

【 0 0 7 0 】

(付記 1 0) 前記第 1 の層が G a A s からなることを特徴とする付記 4 に記載の半導体レーザの製造方法。

【 0 0 7 1 】

(付記 1 1) 前記溝を、管内波長の 2 分の 1 の自然数倍と同程度の周期で形成することを特徴とする付記 4 に記載の半導体レーザの製造方法。

【 0 0 7 2 】

(付記 1 2) 出力光の波長が $1.3 \mu\text{m}$ となるように前記溝のピッチを設定することを特徴とする付記 4 に記載の半導体レーザ装置の製造方法。

【 0 0 7 3 】

(付記 1 3) 出力光の波長が $1.55 \mu\text{m}$ となるように前記溝のピッチを設定することを特徴とする付記 4 に記載の半導体レーザ装置の製造方法。

【 0 0 7 4 】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、第 1 の半導体からなる半導体層に周期的な凹凸（又は、溝）を形成し、凸部の平坦な面を凹部の底部に向って傾斜する面に変形させる。そして、例えば分子線エピタキシー法により半導体層の上に第 2 の半導体を堆積する。これにより、第 2 の半導体は凸部の傾斜面には殆ど堆積せず、主に凹部の底部に堆積して S-K モード成長し、量子ドットが自己形成される。

【 0 0 7 5 】

このようにして、本実施の形態では凹部の底部に量子ドットを自己形成するので、高密度かつ均一な量子ドットが得られる。これにより、利得が大きく、直接変調してもチャージングが発生しにくい半導体レーザを製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

図 1 は、従来の量子ドット分布帰還形半導体レーザの構造を示す断面図である。

【図 2】

図 2 は、従来の量子ドット分布帰還形半導体レーザの製造方法を説明する図（その 1）である。

【図 3】

図 3 は、従来の量子ドット分布帰還形半導体レーザの製造方法を説明する図（その 2）である。

【図 4】

図 4 は、本発明の第 1 の実施の形態の量子ドット分布帰還形半導体レーザの製造方法を示す図（その 1）である。

【図 5】

図 5 は、本発明の第 1 の実施の形態の量子ドット分布帰還形半導体レーザの製造方法を示す図（その 2）である。

【図 6】

図 6 は、本発明の第 1 の実施の形態の量子ドット分布帰還形半導体レーザの製造方法を示す図（その 3）である。

【図 7】

図 7 は、本発明の第 1 の実施の形態の量子ドット分布帰還形半導体レーザの製造方法を示す図（その 4）である。

【図 8】

図 8 は、本発明の第 2 の実施の形態の半導体レーザの製造方法を示す断面図である。

【図 9】

図 9 は、面発光半導体レーザの一例を示す断面図である。

【符号の説明】

1 1, 5 1, 7 1, 8 1…n 型 G a A s 半導体基板、
1 2, 5 2, 7 2, 8 2…n 型 A l G a A s クラッド層、
1 3, 5 8, 7 3, 8 4…i 型 G a A s S C H 層、
1 4, 5 7…量子ドット、
1 5, 5 9, 7 4, 8 6…p 型 A l G a A s クラッド層、
1 6, 6 0, 7 5, 8 7…p 型 G a A s キャップ層、
1 7 a, 1 7 b, 6 1 a, 6 1 b, 7 7 a, 7 7 b, 8 9 a, 8 9 b…電極、
1 8, 6 2…高反射率ミラー、
1 9, 6 3…低反射率ミラー、

2 1, 5 3 … i 型 G a A s 層、

2 2, 5 5 … I n A s 島、

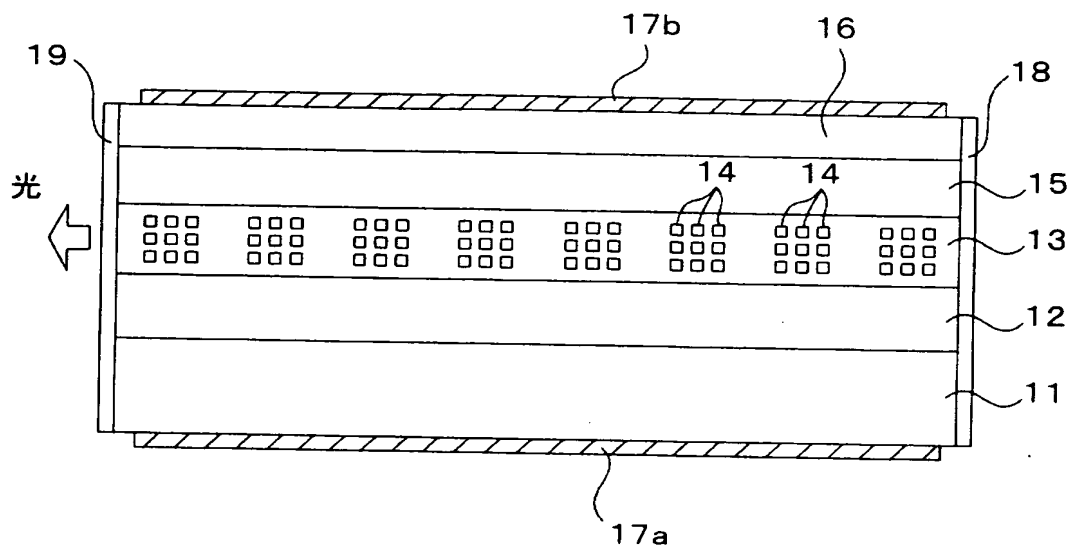
2 3, 5 6 … i 型 G a A s 中間層、

5 4 … 溝、

8 3, 8 5 … ミラー層。

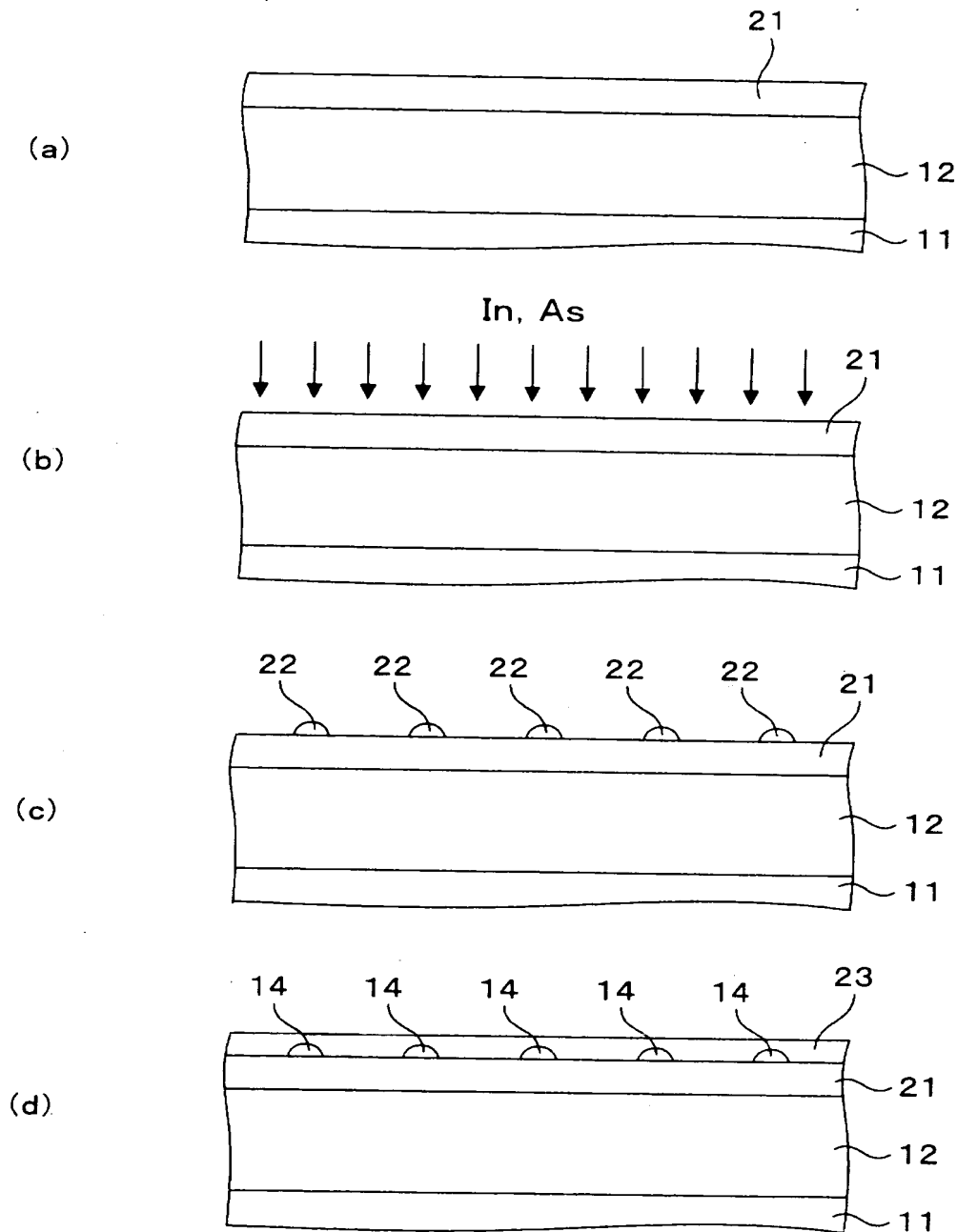
【書類名】 図面

【図 1】



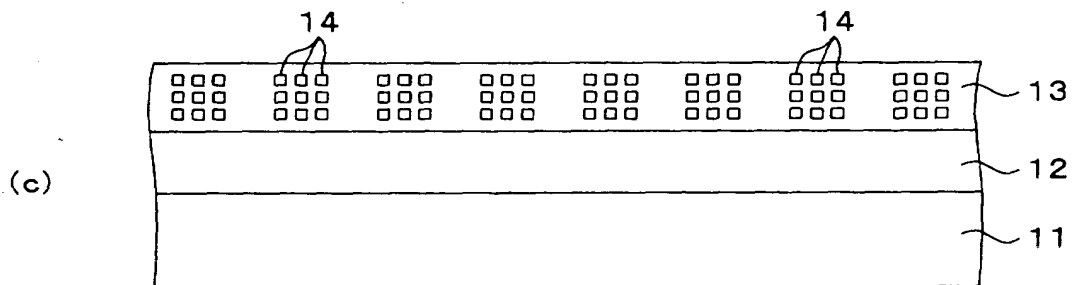
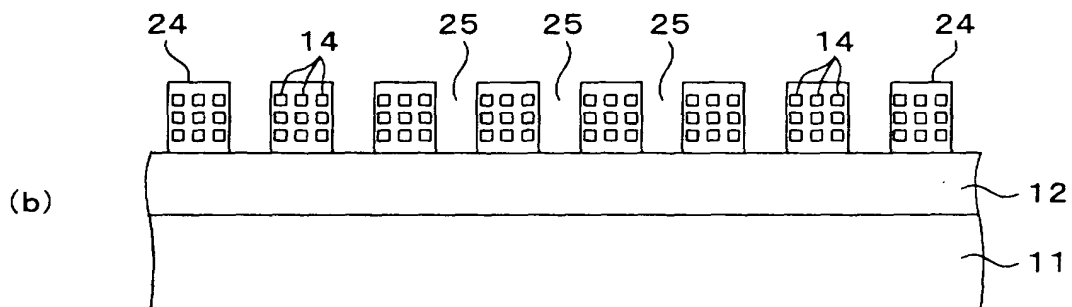
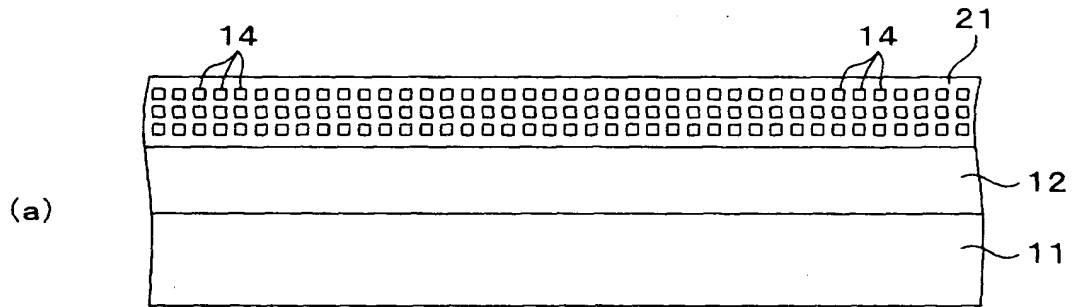
- 11 : n型GaAs半導体基板
- 12, 15 : クラッド層
- 13 : i型GaAsSCH層
- 14 : 量子ドット
- 16 : p型キャップ層

【図2】



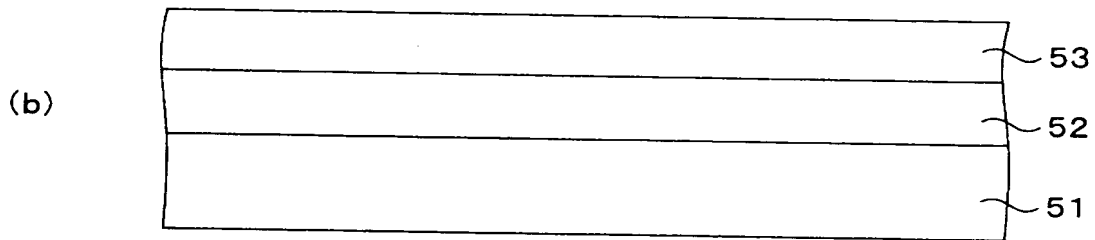
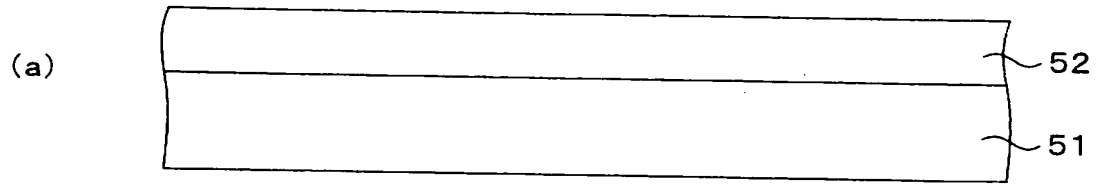
12 : n型AlGaAsグラッド層
 14 : 量子ドット
 21 : i型GaAs層
 22 : InAs島

【図 3】



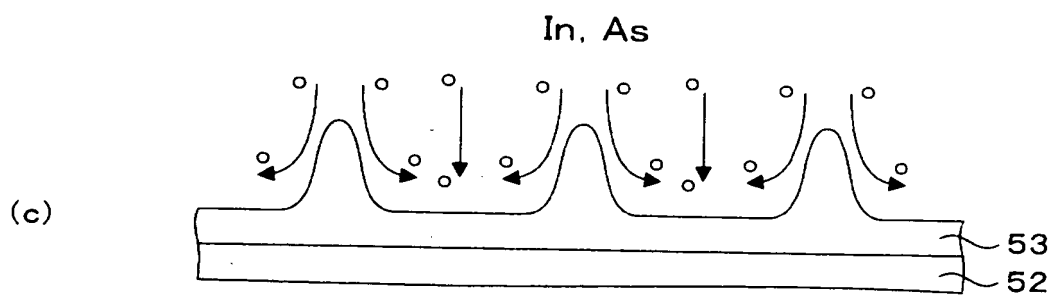
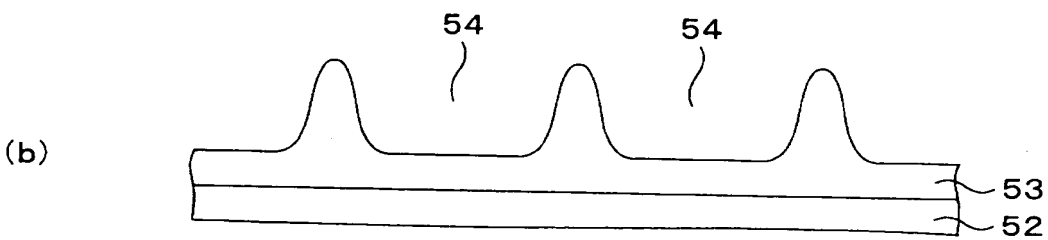
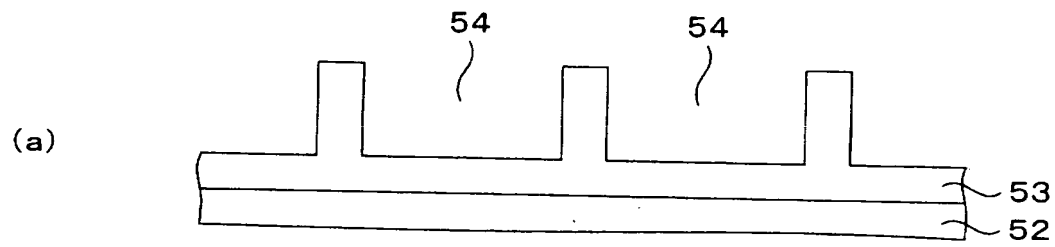
- 11 : n型GaAs半導体基板
- 12 : n型AlGaAsグラッド層
- 13 : i型GaAsSCH層
- 14 : 量子ドット

【図 4】



51 : n型GaAs半導体基板
52 : n型AlGaAsグラッド層
53 : i型GaAs層

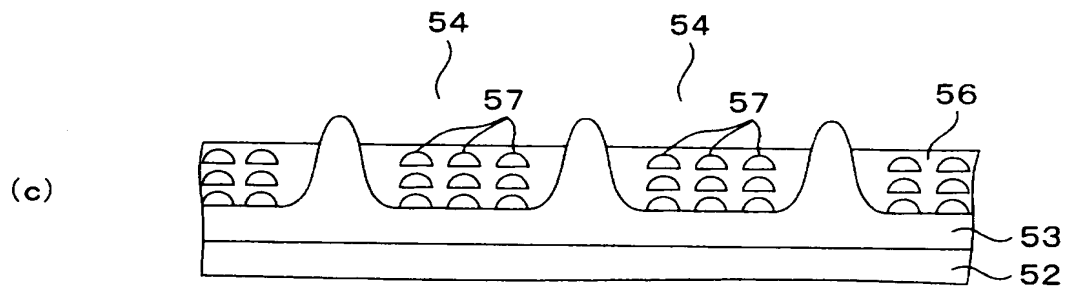
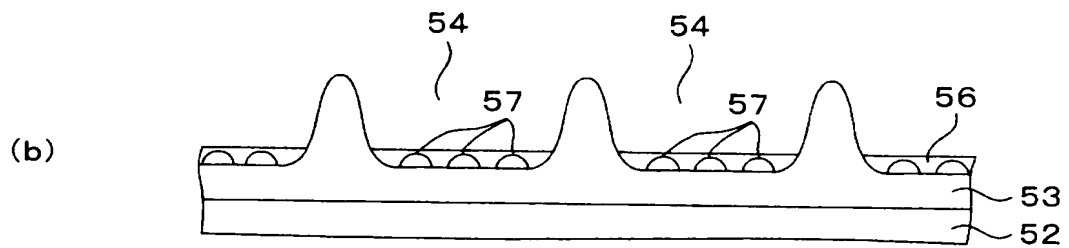
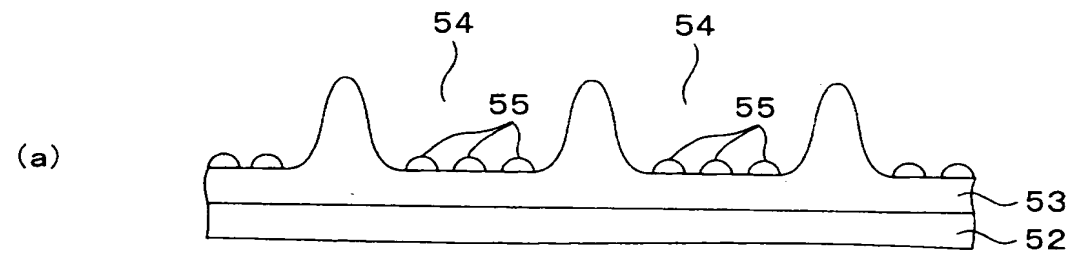
【図 5】



53 : i型GaAs層

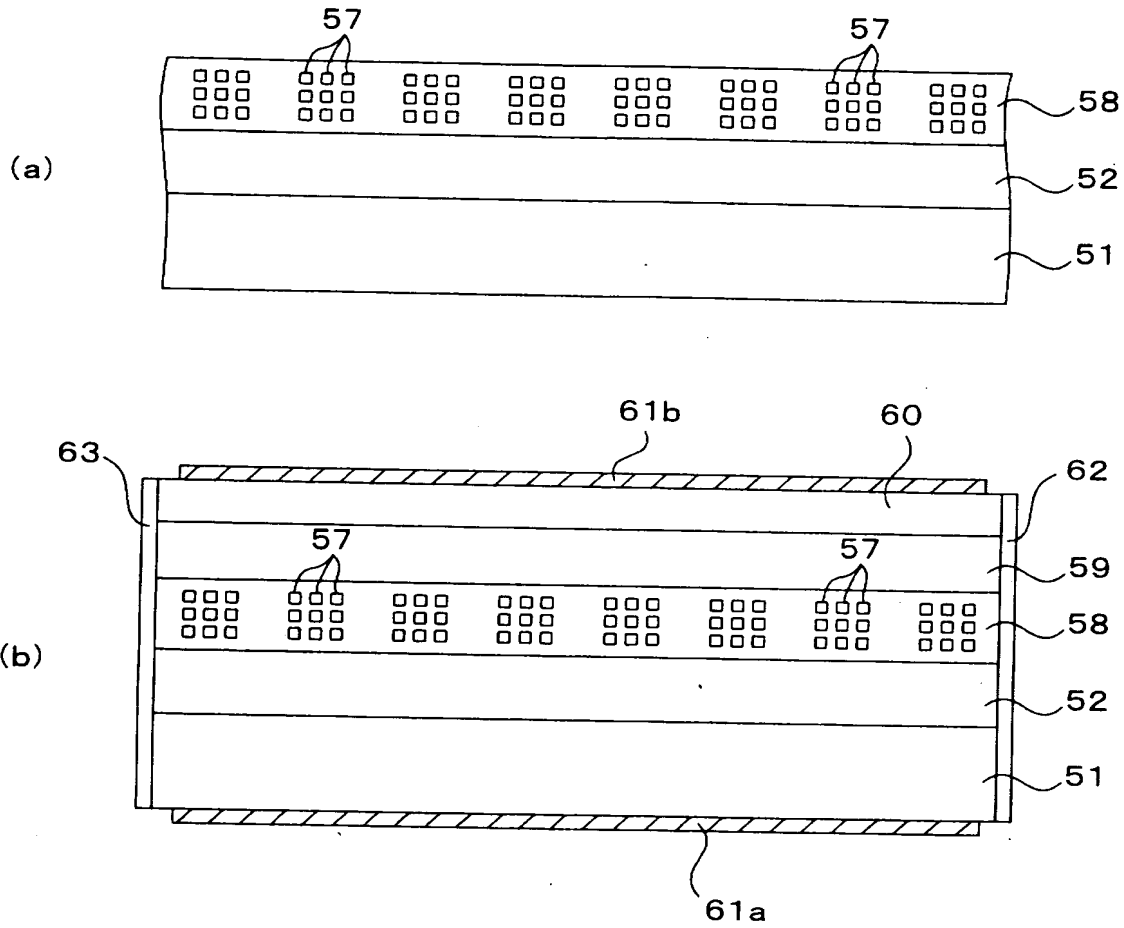
54 : 溝

【図 6】



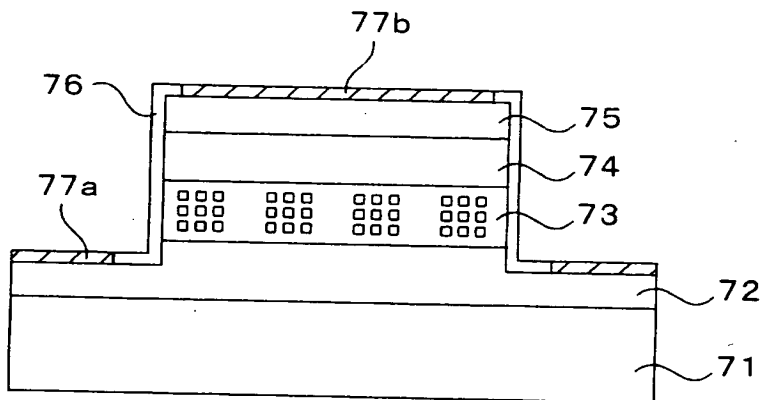
55 : InAs島
 56 : i型GaAs中間層
 57 : 量子ドット

【図 7】



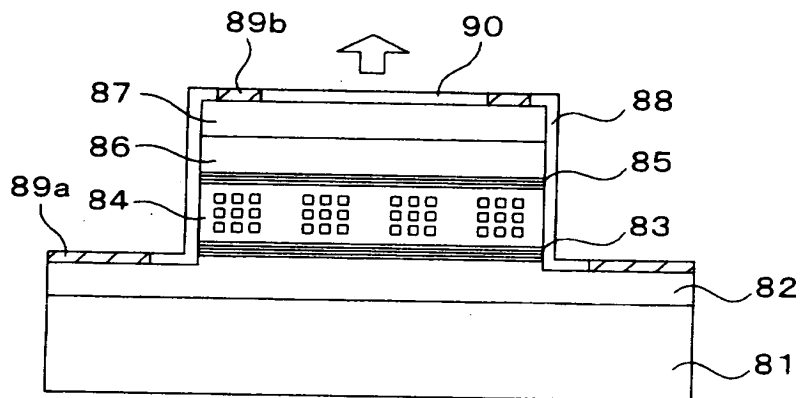
- 51 : n型GaAs半導体基板
- 52, 59 : クラッド層
- 57 : 量子ドット
- 58 : i型GaAsSCH層
- 60 : p型キャップ層

【図8】



- 71 : n型GaAs半導体基板
 72, 74 : クラッド層
 73 : i型GaAsSCH層
 75 : キャップ層

【図9】



- 81 : n型GaAs半導体基板
 82, 86 : クラッド層
 83, 85 : ミラー層
 84 : i型GaAsSCH層
 87 : キャップ層

【書類名】要約書

【要約】

【課題】 高密度かつ均一な量子ドットを形成でき、利得が大きく、直接変調してもチャージングが発生しにくい半導体レーザの製造方法を提供する。

【解決手段】 GaAs半導体基板上にAlGaAsクラッド層52を形成し、その上にi型GaAs層53を形成する。次に、フォトリソグラフィ法により、GaAs層53にストライプ状の溝54を形成した後、MBE法によりInAs層を形成する。このとき、基板温度の上昇に伴い、凸部の縁がなだらかに変形して平坦な部分が殆どなくなる。そして、凸部の傾斜面にはInAsが殆ど堆積せず、溝54の底部にInAsがS-Kモード成長して、相互に離隔したInAs島が形成される。このInAs島をi型GaAsで覆うと量子ドットが形成される。このようにして、溝54を用いて量子ドットの周期構造を形成する。

【選択図】 図5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005223]

1. 変更年月日 1996年 3月26日

[変更理由] 住所変更

住 所 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
氏 名 富士通株式会社